

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
КІРОВОГРАДСЬКИЙ ІНСТИТУТ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

ОХОРОНА ПРАЦІ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання розрахунків з використанням
персональних ЕОМ IBM сумісного типу

Частина 1. ЗАХИСНЕ ЗАЗЕМЛЕННЯ

КІРОВОГРАД

1997

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
КІРОВОГРАДСЬКИЙ ІНСТИТУТ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

ОХОРОНА ПРАЦІ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання розрахунків з використанням
персональних ЕОМ IBM сумісного типу

Частина 1. ЗАХИСНЕ ЗАЗЕМЛЕННЯ

КІРОВОГРАД
1997

Охорона праці: Методичні вказівки до виконання розрахунків з використанням персональних ЕОМ IBM сумісного типу (Частина 1. Захисне заземлення) / Укладачі: О. В. Оришака, Є. К. Солових, В. О. Оришака. — Кіровоград: КІСМ, 1997. — 20 с.

Укладачі:

О. В. Оришака, канд. техн. наук,

Є. К. Солових, канд. техн. наук,

В. О. Оришака, канд. техн. наук.

© Охорона праці ч. 1. Захисне заземлення
О. В. Оришака та ін.

© РВЛ КІСМу, комп'ютерна верстка, 1997.

Загальна частина

Захисне заземлення повино відповідати вимогам [1,3]. До захисного заземлення підлягають металеві неструмопровідні частини електрообладнання, які внаслідок несправності ізоляції можуть бути під напругою.

Захисне заземлення електроустановок необхідно застосовувати:

при номінальній напрузі 380 В і вище змінного струму, а також 440 В і вище постійного струму;

при номінальній напрузі вище 42 В змінного струму і вище 110 В постійного струму тільки в приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних і зовнішніх установках;

при встановленні електрообладнання у вибухонебезпечних зонах.

Захисне заземлення застосовується:

в електроустановках до 1 кВ змінного струму з ізольованою нейтраллю або з ізолюваним виводом джерела однофазного струму, а також в електроустановках постійного струму з ізольованою середньою точкою;

в електроустановках вище 1 кВ.

Мета розрахунку захисного заземлення — визначення основних параметрів заземлюючого пристрою.

Розрахунок проводиться для випадку розміщення заземлюючого пристрою в однорідній землі за допустимим опором розтіканню струму заземлювача методом коефіцієнта використання заземлювачів.

Порядок розрахунку

Початкові дані: потужність трансформатора, джерела струму, розмір площадки, де необхідно спорудити заземлення, відомість про ґрунт, про матеріал, з якого буде споруджуватися заземлення.

1. Визначаємо нормований опір розтіканню струму заземлюючого пристрою — R_3^H .

В електроустановках до 1 кВ $R_3^H \leq 10$ Ом (для паралельно працюючих джерел з сумарною потужністю до 100 кВ·А допускається $R_3^H \leq 10$ Ом).

В електроустановках вище 1 кВ з малим струмом замикання на землю:

$$R_3^H = \frac{250}{I_3} \leq 10 \text{ Ом}.$$

При використанні заземлювача для електроустановок до 1 кВ і вище 1 кВ водночас:

$$R_3^H = \frac{125}{I_3} \leq 4 \text{ або } 10 \text{ Ом відповідно п. 1.}$$

Струм замикання на землю:

$$I = \frac{U_A (35 L_K + L_{пов})}{350},$$

де

U_A — лінійна напруга мережі, кВ;

$L_K, L_{пов}$ — довжина електрично зв'язаних відповідно кабельних і повітряних ліній, км.

Порядок визначення допустимого опору розтіканню струму заземлювача за найбільшими допустимими значеннями напруги дотику і напруги кроку наведено в Додатку 1.

2. Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту, Ом·м ,
(для стержнів — ρ_1 ; для з'єднаної полоси — ρ_2):

$$\rho_{1,2} = \rho_{\text{табл}} \cdot \psi_{1,2} ,$$

де

$\rho_{\text{табл}}$ — табличне значення питомого опору ґрунту (табл. 1);

$\psi_{1,2}$ — кінематичний коефіцієнт ($\psi_1 = 1,2..1,4$ — для стержневих заземлювачів; $\psi_2 = 1,5..2$ — для протяжних).

Таблиця 1.

Ґрунт	Питомий опір, Ом·м		
	при вологості 10..12 %	можливий	рекомендований
Глина	40	8..70	60
Пісок	700	400..2500	500
Садова земля	40	30..60	50
Суглинок	100	40..150	100
Супісок	300	150..400	300
Чорнозем	20	9...53	30

3. Визначаємо опір розтіканню струму природного заземлювача — R_{np} .

Опір визначається виміром або розрахунком. Подальший розрахунок будемо проводити за умови, що значення R_{np} дано. Розрахунки деяких природних заземлювачів наведено в Додатку 2.

4. Визначаємо необхідний опір розтіканню струму штучного заземлювача — $R_{ш}$:

$$R_{ш} = \frac{R_{np} \cdot R_n^3}{R_{np} - R_n^3} .$$

5. Визначаємо опір розтіканню струму одиночного вертикального заземлювача:

$$R_c = \frac{\rho_1}{2 \pi L_c} \left(\ln \frac{2 L_c}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 t + L_c}{4 t - L_c} \right),$$

де

L_c — довжина заземлювача, м (приймається $L_c = 2,5..5,0$ м.);

d — діаметр заземлювача, м (табл. 2.) .

При застосуванні кутової сталі $d = 0,95 \cdot b$, де b — ширина полки,
 t — відстань від поверхні землі до середини заземлювача, м,

$$t = h_0 + \frac{L_c}{2} \quad (h_0 \approx 0,5 \text{ м.})$$

Таблиця 2.

Найменші розміри заземлювачів.

Параметри	Значення
Діаметри пруткових заземлювачів, мм.	
неоцинкованих	10
оцинкованих	6
Площа поперечного перерізу прямокутного заземлювача, мм ² .	48
Товщина прямокутних заземлювачів, полок кутової сталі, мм.	4

6. Визначаємо приблизне число вертикальних заземлювачів.

$$n = \frac{R_c}{R_{ш} - \eta_c} \quad \text{або} \quad n \cdot \eta_c = \frac{R_c}{R_{ш}},$$

де

η_c — коефіцієнт використання заземлювачів (табл.3.).

Таблиця 3.
Коефіцієнт використання заземлювача η_c .

Відношення A/L_c	При розміщенні по контуру	
	число заземлювачів	η_c
1	2	3
(А-відстань між заземлювачами) 1	4	0,66..0,72
	6	0,58..0,65
	10	0,52..0,58
	20	0,44..0,5
	40	0,38..0,44
	60	0,36..0,42
2	4	0,78..0,8
	6	0,71..0,75
	10	0,66..0,71
	20	0,61..0,66
	40	0,55..0,61
	60	0,52..0,58
3	4	0,84..0,86
	6	0,78..0,82
	10	0,74..0,75
	20	0,68..0,73
	40	0,64..0,73
	60	0,62..0,67

7. Визначаємо довжину з'єднуючої полоси:

при замкнутому контурі —

$$L_{пол} = 1,05 \cdot A \cdot n, \text{ м,}$$

при розімкнутому контурі —

$$L_{пол} = 1,05 \cdot A \cdot (n-1), \text{ м,}$$

де A — відстань між заземлювачами —

$$L_c \leq A \leq 3 \cdot L_c.$$

Якщо розміри контура задані, то визначають $A : L_c$.

8. Визначаємо опір розтіканню струму з'єднуючої полоси:

$$R_{пол} = \frac{\rho_2}{2 \pi L_{пол}} \ln \frac{2 L_{пол}^2}{b t'}$$

з урахуванням екранування полоси:

$$R_{пе} = \frac{R_{пол}}{\eta_{п}},$$

де

$\eta_{п}$ — коефіцієнт використання з'єднуючої полоси (табл.4);

b — ширина полоси, м ;

t' — глибина заложення, м ($t' = 0,5 \dots 0,8$ м).

Таблица 4.

Відношення A/L_c	Число заземлювачів						
	4	8	10	20	30	50	60
1	0,45	0,36	0,34	0,27	0,24	0,23	0,20
2	0,55	0,43	0,40	0,32	0,30	0,28	0,27
3	0,70	0,60	0,56	0,45	0,41	0,37	0,36

9. Визначаємо необхідний опір вертикальних заземлювачів з урахуванням, що частина струму зтікає зі з'єднуючої полоси:

$$R_e = \frac{R_{пе} \cdot R_{ш}}{R_{пе} - R_{ш}}$$

10. Визначаємо остаточну кількість заземлювачів:

$$N = \frac{R_c}{R_e \cdot \eta_c} \quad \text{або} \quad N \cdot \eta'_c = \frac{R_c}{R_e}$$

Одержане значення округлюємо до цілої величини N' і уточнюємо R'_θ і $R'_{пе}$:

$$R'_\theta = \frac{R_c}{N' \cdot \eta'_c}; \quad R'_{пе} = \frac{R_{пол}}{\eta'_п},$$

де η'_c і $\eta'_п$ — нові значення коефіцієнтів при уточненій кількості вертикальних заземлювачів. При визначенні η'_c і $\eta'_п$ — враховуємо нове значення A/L_c ,

де

$$A = \frac{L_{пол}}{1,05 \cdot N}.$$

11. Проводимо перевірку:

$$R_\theta = \frac{1}{\frac{1}{R_{пр}} + \frac{1}{R'_\theta} + \frac{1}{R'_{пе}}} \leq R_3^H.$$

Якщо ця умова не буде виконана, то необхідно збільшити кількість вертикальних заземлювачів N' і уточнити R'_θ і $R'_{пе}$, а потім провести перевірку.

Перевірку можна провести за формулою:

$$R_\theta = \frac{R_c \cdot R_{п}}{R_c \cdot \eta'_п + R_{п} \cdot \eta'_c \cdot N'} \leq R_{ш}.$$

Приклад розрахунку

Дано: Заземленню підлягає виробниче обладнання цеху; напруга — 380 В, ґрунт — суглинок, $\rho_{таб} = 100$ Ом·м.

Для заземлення застосовуються: вертикальні електроди — прутки $\varnothing 12$ мм, довжиною $L_c = 2,5$ м; з'єднуюча полоса — 40×4 мм. Природний заземлювач: $R_{пр} = 10$ Ом. Глибина закладення контура заземлення $t' = 0,5$ м.

Рішення:

1. Визначаємо нормований опір розтіканню струму заземлюючого пристрою:

$$R_3^H = 4 \text{ Ом.}$$

2. Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунта:
для вертикального заземлювача —

$$\rho_1 = \rho_{\text{таб}} \cdot \psi_1 = 100 \cdot 1,4 = 140 \text{ Ом} \cdot \text{м} ,$$

для з'єднуючої полоси —

$$\rho_2 = \rho_{\text{таб}} \cdot \psi_2 = 100 \cdot 1,8 = 180 \text{ Ом} \cdot \text{м} .$$

3. Визначаємо необхідний опір розтіканню струму штучного заземлювача:

$$R_{\text{ш}} = \frac{R_{\text{пр}} \cdot R_3^n}{R_{\text{пр}} - R_3^n} = \frac{12 \cdot 4}{12 - 4} = 6 \text{ Ом} .$$

4. Визначаємо опір одиночного вертикального заземлювача:

$$\begin{aligned} R_c &= \frac{\rho_1}{2 \pi L_c} \left(\ln \frac{2 L_c}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 t + L_c}{4 t - L_c} \right) = \\ &= \frac{140}{2 \pi \cdot 2,5} \left(\ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,012} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,75 + 2,5}{4 \cdot 1,75 - 2,5} \right) = 59,07 \text{ Ом}, \end{aligned}$$

де

$t = t' + L_c / 2 = 0,5 + 2,5 / 2 = 1,7$ — глибина до центру стержня заземлювача, м.

5. Визначаємо приблизне число вертикальних заземлювачів n :

$$n = \frac{R_c}{R_{\text{ш}} \cdot \eta_c} \quad \text{або} \quad n \cdot \eta_c = \frac{R_c}{R_{\text{ш}}} = \frac{59,07}{6} = 9,51 .$$

Виходячі з розмірів площадки, де необхідно розташувати заземлення, приймаємо $A:L = 1$. Для $x = 9,51$ та $A:L = 1$ із табл.3. визначаємо: $\eta_c = 0,58$.

Тоді:

$$n = \frac{R_c}{R_{\text{ш}} \cdot \eta_c} = \frac{59,07}{6 \cdot 0,58} = 16,4 \approx 16 .$$

6. Визначаємо довжину з'єднуючої полоси:

$$L_{\text{пол}} = 1,05 \cdot A \cdot n = 1,05 \cdot 2,5 \cdot 16 = 43,05 \text{ м} .$$

7. Визначаємо опір з'єднуючої полоси:

$$R_{пол} = \frac{\rho_2}{2 \pi L_{пол}} \ln \frac{2 L_{пол}}{b \cdot t'} = \frac{180}{2 \cdot 3,14 \cdot 43,05} \ln \left(\frac{2 \cdot 43,05^2}{0,04 \cdot 0,5} \right) = 8,07 \text{ Ом.}$$

де

$b = 0,04 \text{ м}$ — ширина полоси.

З урахуванням екранування полоси:

$$R_{пол.е} = \frac{R_{пол}}{\eta_{п}} = 8,07 / 0,3 = 26,9 \text{ Ом ,}$$

де

$\eta_{п} = 0,3$ — коефіцієнт (із табл.3.) для полоси при $q = 1$, $n = 16$.

8. Визначаємо необхідний опір вертикальних заземлювачів:

$$R_{\theta} = \frac{R_{пол.е} \cdot R_{ш}}{R_{пол.е} - R_{ш}} = \frac{26,9 \cdot 6}{26,9 - 6} = 7,72 \text{ Ом .}$$

9. Визначаємо остаточну кількість заземлювачів:

$$N = \frac{R_c}{R_{\theta} \cdot \eta_c} \quad \text{або} \quad N \cdot \eta_c = \frac{R_c}{R_{\theta}} = \frac{57,09}{7,72} = 7,39 .$$

Для $x = 7,39$ та $q = A:L = 1$ із табл.3. визначаємо: $\eta_c = 0,58$, тоді:

$$N = \frac{R_c}{R_{\theta} \cdot \eta_c} = \frac{57,09}{7,72 \cdot 0,58} = 12,75 .$$

10. Одержане значення округляємо до цілої величини $N' = 13$ і уточнюємо:

$$R'_{\theta} = \frac{R_c}{N' \cdot \eta'_c} = \frac{57,09}{13 \cdot 0,53} = 8,28 \text{ Ом ;}$$

$$R'_{пол.е} = \frac{R_{пол}}{\eta'_{п}} = \frac{8,07}{0,31} = 26,03 \text{ Ом ,}$$

де η'_c і η'_n — коефіцієнти використання стержня (табл. 3.) та по-
лоси (табл. 4.) для $n = 13$ та $q = A:L = 1$.

11. Проводимо перевірку:

$$R = \frac{R_c \cdot R_{пол}}{R_c \cdot \eta'_n + R_{пол} \cdot \eta'_c \cdot N'} \leq R_{ш},$$

$$R = \frac{57,09 \cdot 8,28}{57,09 \cdot 0,31 + 8,28 \cdot 0,53 \cdot 13} \leq 6,$$

$$6,32 \not\leq 6.$$

Перевірка не виконується, тому збільшуємо кількість вертикальних
заземлювачів на одиницю і перерахуємо, починаючи з формули 10:

$N' = 14$;

$$R'_c = \frac{R_c}{N' \cdot \eta'_c} = \frac{57,09}{14 \cdot 0,525} = 7,76 \text{ Ом} ;$$

$$R'_{пол} = \frac{R_{пол}}{\eta'_n} = \frac{8,07}{0,3} = 26,9 \text{ Ом} ,$$

де η'_c і η'_n — для $n = 14$ та $q = A:L = 1$,

$$R = \frac{R_c \cdot R_{пол}}{R_c \cdot \eta'_n + R_{пол} \cdot \eta'_c \cdot N'} \leq R_{ш},$$

$$R = \frac{57,09 \cdot 7,76}{57,09 \cdot 0,3 + 7,76 \cdot 0,525 \cdot 14} \leq 6,$$

$$5,97 \leq 6.$$

Перевірка виконується, тобто остаточно кількість стержнів $n=14$.

Варіант програми (на мові програмування QBasic) приведено
нижче.

Програма

CLS

***** Блок 1 *****

'Вхідні дані:

' $P_i = 3.1415926$ — число "Пі"

' $N = 1200 \text{ Кв}^* \text{а}$ — сумарна потужність працюючих трансформаторів

' $U = 380 \text{ В}$ — лінійна напруга мережі

' $r_t = 100 \text{ Ом}^* \text{м}$ — табл. значення (см. табл.1) питомого опору ґрунту

' $F_1 = 1.4$ — кінематичний коефіцієнт для стержневих заземлювачів

' $F_2 = 1.8$ — для протяжних

' $R_P = 12 \text{ Ом.}$ — опір розтіканню струму природного заземлювача

' $d = 0.012 \text{ м.}$ — діаметр стержня заземлювача

' $h = 0.5 \text{ м.}$ — відстань від поверхні землі до глибини прокладки полоси

' $b = 0.04 \text{ м.}$ — ширина полоси

' $K_P = 0.45$ — коефіцієнт використання полоси

' $L = 2.5 \text{ м.}$ — довжина стержня заземлювача

' $L_k = 1 \text{ км}$ — довжина кабельних ліній

' $L_v = 0 \text{ км}$ — довжина повітряних ліній (якщо є)

' $U_d = 0 \text{ В}$ — напруга на другій ділянці (якщо є)

***** кінець блока 1 *****

DATA 3.1415926,1200,380,100,1.4,1.8,12,0.01,0.5,0.04,0.45,2.5,1,0,0
READ P_i , N , U , r_t , F_1 , F_2 , R_P , d , h , b , K_P , L , L_k , L_v , U_d

***** Блок 2 *****

'Визначаємо ток замикання на землю I_z :

$$I_z = ((U / 1000) * (35 * L_k + L_v)) / 350$$

'Визначаємо нормований опір розтіканню струму заземлюючого пристрою R_N :

IF $N < 100$ AND $U < 1000$ THEN $R_N = 10$: GOTO 2

IF $N > 100$ AND $U \leq 1000$ THEN $R_N = 4$: GOTO 2

IF $U > 1000$ AND $U_d = 0$ THEN $R_N = 250 / I_z$: GOTO 1

IF $U_d > 0$ AND $U_d \leq 1000$ AND $U \geq 1000$ AND $N > 100$ THEN 1

IF $U_d \geq 1000$ AND $U \leq 1000$ AND $N > 100$ THEN 1

IF $U_d > 0$ AND $U_d < 1000$ AND $U > 1000$ AND $N < 100$ THEN 1

IF $U_d > 1000$ AND $U < 1000$ AND $N < 100$ THEN 1

1 : $R_N = 125 / I_z$

IF $R_N \geq 10$ THEN $R_N = 10$

***** кінець блока 2 *****

2 'Питомий опір ґрунту (для вертикального стержня) rr_1 :

$rr_1 = r_t * F_1$

'Для горизонтальної полоси rr_2 :

$rr_2 = r_t * F_2$

‘Необхідний опір розтіканню струму штучного заземлювача g_z :

$$g_z = R_P * R_N / (R_P - R_N)$$

IF $g_z \leq 0$ THEN 7

‘Глибина від поверхні до центру стержня T:

$$T = h + L / 2$$

‘Опір розтіканню струму одиночного вертикального заземлювача g_1 :

$$x = g_{r1} / (2 * \pi * L) \quad \text{‘це допоміжне обчислення}$$

$$g_1 = x * (\text{LOG}(2 * L / d) + 0.5 * \text{LOG}((4 * T + L) / (4 * T - L)))$$

‘Визначаємо число вертикальних заземлювачів (перше наближення) w:

$$w = g_1 / g_z$$

3 PRINT "Ввести (із табл. 3) $q = a/L$ — відношення відстані між"

PRINT "вертикальними стержнями заземлювача до довжини стержня заземлювача,"

PRINT "k — коеф. використання заземлювача"

PRINT "при w="; w; " — число вертикальних заземлювачів "

INPUT "q="; q

INPUT "k="; k

‘число вертикальних заземлювачів z:

$$z = \text{CINT}(r_1 / (r_z * k))$$

‘Визначим довжину з’єднуючої полоси:

$$A = q * L \quad \text{‘ — відстань між стержнями заземлювача}$$

$$LP = 1.05 * A * z \quad \text{‘ — для замкнутого контура}$$

$$LP = 1.05 * A * (z - 1) \quad \text{‘ — для розімкнутого контура}$$

‘Опір розтіканню струму полоси R_P :

$$R_P = (g_{r2} / (2 * \pi * LP)) * \text{LOG}(2 * LP^2 / (B * h))$$

‘З урахуванням екранування:

PRINT "Ввести (із табл.4) коеф. використання полоси k_1 , "

PRINT "при $q = A/L$ "; q; "та n "; z

INPUT "k1="; k

$R_{pe} = R_P / k_1$ ‘Опір розтіканню струму полоси урахуванням екранування

‘Необх. опір верт. заземлювача (з урахуванням розтікання струму з полоси):

$$R_V = (R_{pe} * g_z) / (R_{pe} - g_z)$$

‘Уточнюємо число вертикальних заземлювачів NN:

$$Y = g_1 / R_V \quad \text{‘ — попереднє число заземлювачів}$$

PRINT " "

PRINT "Ввести (із табл.3) k — відкоректований коеф. для стержня"

PRINT "при $q =$ "; q; " — відношення відстані між вертикальними "

PRINT "стержнями заземлювача к довжині стержня заземлювача"

PRINT "та n "; Y; " — число верт. заземлювачів "

INPUT "k="; k

‘тоді відкоректована кількість стержней NN:

```

NN = CINT(r1 / (RV * k))
IF NN < 1 THEN NN = 1
5 : PRINT " "
PRINT "Ввести (із табл.3) k — відкоректований коеф. для стержня "
PRINT " при q="; q; " — відношення відстані між вертикальними "
PRINT " стержнями заземлювача до довжини стержня заземлювача "
PRINT " та n="; NN; " — число верт. заземлювачів "
INPUT " k="; k
'тоді:
RV = r1 / (NN * k)
PRINT " "
PRINT "З урахуванням попередніх уточнень вибираємо (із табл. 4) k1 — "
PRINT " відкоректований коефіцієнт використання полоси:"
PRINT " при q="; q; " — відношення відстані між вертикальними "
PRINT " стержнями заземлювача к довжині стержня заземлювача "
PRINT " та n="; NN; " — число верт. заземлювачів "
INPUT " k1="; k1
'тоді:
Rpe = RP / k1
'Перевірочний розрахунок:
RRR = r1 * RP / (r1 * k1 + RP * k * NN)
PRINT "RRR="; RRR; "rz="; rz
IF RRR >= rz THEN NN = NN + 1: GOTO 5
TT = rz / RRR 'допоміжне обчислення
IF TT > 1.5 THEN NN = NN - 1: GOTO 5
PRINT "Результати обчислень:"
PRINT "d="; d; "м. — діаметр стержня заземлювача"
PRINT "NN="; NN; " — число верт. стержней"
PRINT "G="; G; "м. — відстань між стержнями"
PRINT "L="; L; "м. — довжина стержня"
PRINT "b="; B; "м. — ширина полоси"
PRINT "RRR="; RRR; "Ом — опір заземлюючого пристрою"
PRINT "rz="; rz; "Ом — нормований опір струму штучного заземлювача"
PRINT "Перевірка:"
PRINT "RRR="; RRR; "<="; "rz="; rz

```

'***** Блок 3 *****'

```

PRINT " "
PRINT "Iz="; Iz; "r1="; r1; "r2=" r2; "rz="; rz; "T="; T; "x="; x
PRINT "r1="; r1; "w="; w; "A="; A; "z="; z; "LP="; LP; "RP="; RP

```



```

PRINT "Rpe="; Rpe; "RV="; RV; "G="; G; "NN="; NN; "q=A/L="; q
PRINT "RV1="; RV1; "RP1="; RP1; "Y="; Y
7; PRINT "Необхідний опір розтіканню струму штучного заземлювача"
PRINT "gz="; gz; "досягається і при цих даних"
'***** кінець блока 3 *****
END

```

Програму розраховано на роботу у діалоговому режимі, тобто після набору і запуску та виконання (Shift/F5) здійснюється розрахунок параметрів заземлювача у першому наближенні. Далі користувачеві на запитання потрібно ввести дані (із табл. 3,4). Після кожного значення треба натиснути на клавішу «Enter» і процес розрахунку повториться (друге наближення). Кількість ітерацій може бути різною і залежить від того, наскільки відрізняються вибрані початкові (попередні) параметри заземлення від потрібних (кінцевих — одержаних в результаті розрахунків). Після кожного циклу у відповідь на запитання слід вводити скоректовані значення параметрів (табл. 3, табл. 4).

Блок 1 (опис вхідних даних) не приймає участі у виконанні програми і тому не є обов'язковим, а також ті рядки та вирази, що починаються із знака «>» (апостроф).

Блок 2 (визначення нормованого опору розтіканню струму заземлюючого пристрою) можна замінити введенням значення нормованого опору (RN), якщо його задано, або якщо його попередньо визначити (див. загальну частину та додаток 1).

Блок 3 є допоміжним (виведення результатів проміжних обчислень і кінець розрахунку на випадок некоректних початкових даних). Його можна вилучити з програми весь або тільки вираз під міткою 7 (в обох випадках це треба робити разом з вилученням рядка: «IF gz <= 0 THEN 7»). У загальному випадку логічних помилок — неможливих обчислень (при діленні на нуль, обчисленні логарифма від'ємного числа, тощо) при роботі у QBasic з'явиться повідомлення «Division by zero». При необхідності перервати виконання програми (це може бути при «зациклюванні» та в інших випадках) слід натиснути Ctrl/Pause(Break).

Приведена програма може бути використовувана як основа для складання програм обчислення параметрів захисного заземлення на інших мовах програмування.

Додаток 1.

Визначення допустимого опору заземлюючого пристрою за найбільш допустимими значеннями напруги дотику і напруги кроку.

Найбільші допустимі значення напруги дотику і кроку визначають за допустимим струмом — $I_{h\text{доп}}$, який протікає через людину, в залежності від часу його дії (табл 5), який приймається рівним часу спрацювання захисту і відключення напруги при замиканні на корпус при прийнятому розрахунковому опорі людини $R_h = 1000$ Ом.

$$U_{\text{доп.дот}} = I_{h\text{доп}} \cdot R_h ;$$

$$U_{\text{доп.кр}} = I_{h\text{доп.кр}} \cdot R_h .$$

Ці напруги можуть прийматись не більше 42 В при змінному струмі промислової частоти і при постійному — не більше 110 В.

За розрахунковий опір R_z вибирають менше значення із одержаного за формулами:

$$R_z = \frac{U_{\text{доп.дот}}}{I_z \alpha_1 \alpha_2} ;$$

$$R_z = \frac{U_{\text{доп.кр}}}{I_z \beta_1 \beta_2} ,$$

де

I_z — розрахунковий струм замикання на землю,

α_1, α_2 — коефіцієнти напруги дотику,

β_1, β_2 — коефіцієнти напруги кроку.

Таблиця 5.

Гранично допустимі рівні напруги дотику і струму.

Рід струму	нормована величина	Гранично допустимі рівні при тривалості дії струму, с.						
		0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	більше 1 с.
50 Гц	U, В I, мА	500	250	125	85	65	50	36 6
400 Гц	U, В I, мА	500	500	250	170	130	100	36 8
постійний	U, В I, мА	500	400	300	240	220	200	40 15

Коефіцієнти α_1 і β_1 вибираються за табл. 6.

Коефіцієнти α_2, β_2 визначаються за рівняннями:


$$\alpha_2 = \frac{R_h}{R_h + 1,5 \rho_{\text{роз}}}; \quad \beta_2 = \frac{R_h}{R_h + 6 \rho_{\text{роз}}}$$

де

$\rho_{\text{роз}}$ — розрахунковий питомий опір підлоги.

Таблиця 6.

Значення коефіцієнтів дотику α_1 і кроку β_1 .

Тип заземлювача	Число паралельних полос	Відстань між паралельними подосами	α_1	β_1
1	2	3	4	5
груповий контурний із стержнів і полос з внутрішніми паралельними полосами 	5	2,5	0,10	0,15
		5	0,15	
		10	0,25	
		15	0,35	
	10	2,5	0,08	0,15
		5	0,1	
		10	0,2	
		15	0,25	

Додаток 2.

Визначення опору розтіканню струму для деяких природних заземлювачів.

1. Для залізобетонн. фундаментів:

$$R_{\phi} = \frac{0,5 \cdot \rho_{\text{ек}}}{\sqrt{S}}$$

де

$\rho_{\text{ек}}$ — питомий еквівалентний опір землі, Ом · м.

$$\rho_{\text{ек}} = \rho_1 \left[1 - e^{(-\alpha h_1 / \sqrt{S})} \right] + \rho_2 \left[1 - e^{(-\beta \sqrt{S} / h_1)} \right],$$

де

ρ_1 і ρ_2 — питомі електричні опори верхнього і нижнього шарів землі, Ом · м.;

h_1 — потужність (товщина) верхнього шару землі, м.;

α і β — безрозмірні коефіцієнти,

якщо $\rho_1 = \rho_2$, то $\alpha = 3,6$; $\beta = 0$;

якщо $\rho_1 < \rho_2$, то $\alpha = 1,1 \cdot 10^{-2}$, $\beta = 0,3 \cdot 10^{-2}$;

S — площа, яка обмежена периметром будови, м².

2. Для металевих оболонок кабелів, розташованих у землі:

$$R_k = R_0 \sqrt{\rho / \rho_0},$$

де

R_0 — опір заземлення оболонок кабелів при питомому опорі землі

$\rho_0 = 100$ Ом · м.

Він приблизно може бути прийнятим за табл.7:

Таблица 7.

Число кабелів	1	2	3
R_0 , Ом	2	1,6	1,2

ρ — фактично питомий опір землі.

Література

1. ГОСТ 12.1.030 — 81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.

2. ГОСТ 12.1.009 — 76. Электробезопасность. Термины и определения.

3. Правила устройства электроустановок. М.: Электростройиздат, 1985. — 640 с.

4. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках. — М.: Энергиз, 1979. — 335 с.

5. Якобс А. И., Луковников А. В. Электробезопасность в сельском хозяйстве — М.: Колос, 1981.

6. Охрана труда в электроустановках / Под ред. Б. А. Князевского — М.: Энергоатомиздат, 1983 — 336 с.

7. ГОСТ 12.1038 — 82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ВИДАННЯ

Укладачі: *О.В.Оришака, Є.К.Солових, В.О.Оришака*

ОХОРОНА ПРАЦІ

Методичні вказівки до виконання розрахунків з використанням
персональних ЕОМ IBM сумісного типу

Частина 1. Захисне заземлення

Редактор *В. Р. Собчук*
Комп'ютерний набір та верстка *О. С. Шелудяков*
Коректор *О. О. Єзурнова*
Тиражування *Ю. М. Рубан*

Здано до набору 24.07.96. Підписано до друку 4.04.97.
Формат 60 x 84 1/16. Папір газетний. Гарнітура Times.
Надруковано на різнографі. Умов. друк. арк. 1,25 Тир. 100 прим.
Зам. № 405/97. АИД/Oryshak. Ціна договірна.